DBpia

논문 18-43-12-24 The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences '18-12 Vol.43 No.12
https://doi.org/10.7840/kics.2018.43.12.2185

TPC 방식의 위성 데이터 통신용 Fly-Away Terminal 송수신기

심 은 석◆, 박 병 준*, 이 덕 우*, 이 성 재**

Fly-Away Transceiver for Satellite Data Communication Using TPC

Eunseok Shim◆, Byoungjun Park*, Deokwoo Lee*, Seongjae Lee**

요 약

본 논문에서는 정지궤도 위성과 통신이 가능한 fly-away terminal 송수신기를 터보 곱셈부호 (Turbo Product Code, TPC) 방식을 이용하여 설계하였다. 설계된 위성 단말은 국제통신연합규정(ITU-R), 미국 국방부에서 권고하는 MIL-STD-188-164A와 유럽전기통신표준협회 ETSI EN 302 307 규격을 준수하도록 설계하였다. 설계된 송수신기는 RF 송수신부, 모뎀부로 구성된다. RF 송수신부는 모뎀부 신호를 Ka 대역으로 상/하향 변환하여 고출력 송신 및 저잡음 수신하도록 설계되었으며 모뎀부는 순방향 오류정정 (Forward Error Correction, FEC) 부호, Root-Raised-Cosine (RRC) 필터, Cascaded Integrator-Comb (CIC) 필터, Numerically Controlled Oscillator (NCO), 디지털-아날로그 변환기/아날로그-디지털 변환기 (DAC/ADC)로 구성되며 순방향 오류정정 부호는 부호화 블록의 가변이 용이하고 오류정정성능이 저밀도패리티체크 (Low Density Parity Check, LDPC) 부호에 준하는 터보 곱셈부호로 설계되었다. 본 논문에서는 TPC를 사용하여 전송속도 2Mbps를 만족하는 모뎀부와 상/하향 변환주파수로 송수신하는 송수신부를 제안하였고, 차기 군 위성통신체계에서 요구하는 성능을 만족하였다

Key Words : MILSATCOM, Satellite data Communication, Fly-away terminal, TPC, FEC

ABSTRACT

In this study, the researcher(s) designed a fly-away terminal transmitter/receiver communicating with geostationary orbit satellite by applying the Turbo Product Code (TPC). This newly developed satellite terminal observe the standards of ITU-R, MIL-STD-199-164A, and ETSI EN 302 307. The fly-away terminal transmitter/receiver consists of the RF transmitter/receiver part and the radio modem part. The RF transmitter/receiver part was designed to transduce the modem signals into Ka-band up/down converting frequency so that it can result in high power transmission while lowering the noise level. The modem part was developed utilizing the forward error correction (FEC), root-raised-cosine (RRC) filter, cascaded integrator-comb (CIC) filter, numerically controlled oscillator (NCO), and digital-to-analog converter (DAC) and analog-to-digital converter (ADC). The use of FEC codes efficiently provide building blocks of encoding symbols and error correction functions follow low density parity check (LDPC) observing the TPC. This study presents a fly-away terminal transmitter/receiver that can modulate and demodulate the signals using TPC at the maximum speed of 2Mbps and transmit/receive them to an antenna by transmitting the up/down converting frequency.

◆ First Author : (ORCID:0000-0003-4635-0279) Hanwha Systems, eunseok.shim@hanwha.com, 정회원
* Hanwha Systems, byungjun8282.park@hanwha.com, dw2003.lee@hanwha.com
** (ORCID:0000-0001-5885-7945) Agency for Defense Development, 정회원
논문번호 : 201810-311-D-RU, Received October 5, 2018; Revised November 19, 2018; Accepted November 22, 2018

www.dbpia.co.kr

Ⅰ. 서 론

1995년 8월에 통신 위성인 무궁화 1호 위성이 발사되어 국내에 본격적인 위성 통신 서비스가 제공된 지 21년이 넘어가고 있다. 무궁화호 위성뿐만 아니라 과학 위성인 우리별 위성과 다목적 실용 위성인 아리랑호 위성이 순차적으로 발사되어 위성 통신에 대한 관심이 더욱 높아지고 있다.[1] 위성 통신은 육상 통신에 비하여 넓은 지역을 커버할 수 있는 광역성과 동시에 여러 지구국에 정보를 전달할 수 있는 동보성, 그리고 서비스가 개시된 후의 접속 용이성과 상대적으로 넓은 주파수 대역을 사용할 수 있는 광대역성 등의 우수한 특성을 갖고 있다. 이러한 장점으로 인해 긴 전송 지연에도 불구하고 군 통신을 비롯한 휴대 위성통신 및 공공/안전/재난 통신에서의 활용도가 크게 부각되고 있다.[2] 본 논문에서는 차기 군 위성을 이용한 통신 방식으로 위성 탑재체, 운용국, 분산망 Hub, 지구국 위성 단말로 그림 1과 같이 구성된다. 지상의 위성 단말 또는 지구국에서 송신된 신호를 위성을 통해 다시 지상으로 재송신하여 대형 위성 단말 또는 지구국에서 수신하게 되며, 위성체의 궤도 높이에 따라 저궤도, 중궤도, 정지궤도 통신으로 구분할 수 있다.

그 중에서 정지궤도 통신시스템의 경우 우주국 정지위성과 지구국 위성 단말 간 거리가 수 만 km 이상이어서 거리와 기후에 따른 송수신 신호의 감쇄가 매우 크다. 또한 우주국의 많은 위성 중 상호 간섭 없이 목표 위성으로만 신호를 송/수신하여야 하기 때문에 송수신기 설계가 매우 중요하다.[3]

본 논문에서 설계한 터보 곱셈부호 (Turbo Product Code, TPC) 방식의 위성 데이터 통신용 fly-away terminal 송수신기는 2인이 고정 설치하여 운용하는 위성단말로 장비의 이동, 설치, 운용 간 사용자의 편의성을 향상시키기 위하여 소형 경량화 및 저전력화 설계가 중요하다. 이를 위해 RF 송수신부는 dual-offset gregorian 타입 반사판 구조를 적용하여 부피 최소화 설계를 하였으며 마그네슘을 이용하여 알루미늄 대비 40% 정도의 무게를 경량화하였다. RF 송수신부는 병렬 구조의 MMIC를 이용하여 고출력, 소형 경량화 하였으며 PBG LPF를 통해 불요파 및 고조파 억압 하였으며, 저잡음 증폭 및 삽입손실 최소화를 위해 isolator가 내장된 LNB를 설계하였다.[4,5] 모뎀부는 유연한 전송률 가변을 위해 interpolation rate 512까지 지원하는 Cascaded Integrator-Comb (CIC) interpolator와 기존 위성통신 규격에서 사용하고 있는 저밀도패리티체크 (Low Density Parity Check, LDPC) 부호와 비슷한 성능을 보이면서 블록 사이즈 가변이 용이한 터보 곱셈부호 (Turbo Product Code, TPC)로 교체하여 설계하였으며 터보 곱셈부호의 복잡도 문제를 해결하기 위해 실제 로직으로 구현하는 대신 Comtech AHA 사의 AHA4540 IC를 적용하여 설계하였다.

Fig. 1. The operational concept of the fly-away satellite terminal communicaiton

Ⅱ. 본 론

본 논문에서 설계한 터보 곱셈부호 방식의 위성 데이터 통신용 fly-away terminal 송수신기 구성도는 그림 2와 같다. fly-away terminal은 크게 송수신부와 모뎀부로 구성되며 송수신부는 안테나, 송신조립체, 수신조립체, 주파수합성조립체로 구성된다. 모뎀부는 순방향 오류정정 부호 (FEC), 변복조 모듈, Root-Raised-Cosine (RRC) Waveform/Matched filter, Cascaded Integrator-Comb (CIC) Interpolator/Decimator, Numerically Controlled Oscillator, Frequency Mixer, DAC/ADC로 구성된다.

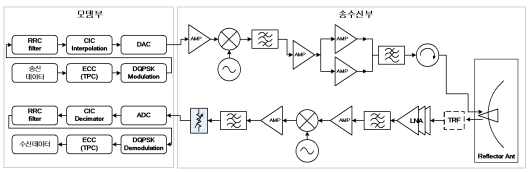


Fig. 2. The architecture of fly-away terminal block diagram

2.1 송수신부 설계

송수신부는 크게 안테나와 송수신으로 구성된다. Fly-away 단말 안테나는 주/부 반사판, 코러게이트 급전혼, 편파기, 직교모드 변환기로 구성되며 Ka-대역에서 전기적으로 유효면적이 큰 대형 반사판을 이용하여 급전혼으로부터 입력된 구형파를 평면파로 변환하

www.dbpia.co.kr

고 이를 하나의 초점으로 응집하여 송수신하기 때문에 높은 지향성과 이득을 갖는다. 안테나의 주요 설계 목표는 ITU 권고안과 MIL-STD-188-164A의 내용을 참고하여 표 1과 같이 설계하였다.

송수신은 크게 송신조립체와 수신조립체로 나뉘어진다. 송신조립체의 경우 모뎀부로부터 중간주파수 출력을 입력받아 Ka-대역으로 주파수 상향변환 후 double-balanced 구조의 pHEMT MMIC를 이용한 고출력증폭을 통해 안테나로 신호를 송신하도록 설계하였다. 또한 신호세기 조절을 위해 레벨 조정 기능을 구현하였다. 고조파 및 상호 변조 왜곡 억압을 위해 PBG 구조의 hormonic low-pass filter를 설계하였다. 수신조립체는 안테나로부터 수신된 Ka-대역 신호를 저잡음 증폭 및 하향 주파수변환하도록 설계하였다. 입력 insetion loss를 최소화하기 위해 WG-42를 이용하여 설계하였으며 잡음지수 최소화를 위해 입력단을 noise matching으로 설계하였다. 송수신 주파수 변환을 위한 주파수 합성조립체는 높은 안정도 및 낮은 위상잡음 특성을 갖는 루비듐 클럭을 이용하여 10MHz reference 신호를 생성하였으며 PLL를 이용하여 주파수변환에 필요한 신호를 생성 후 frequency doubler를 이용하여 local 주파수를 생성하도록 설계하였다. 송수신 주요 설계 목표는 MIL-STD-165A의 내용을 참고하여 표 2와 같이 설계하였다.

Table 1. Target Performance of the proposed antenna

Parameter		Target	Designed
Frequency		Ka-band	
Antenna Gain	Tx	44.0 dBi	46.0 dBi
	Rx	41.5 dBi	42.3 dBi
Co-pol/Cross-pol		ITU-R	
Antenna Noise Temperature		150°K	134.7°K
Polarization	Tx	LHCP	
	Rx	RHCP	

Table 2. Target Performance of the proposed transmit/receive

Parameter	Target	Designed
Frequency	Ka-band	
Tx Power	4W ↑	5W
Rx Gain	60dB ↑	63dB
Rx Noise Figure	1.9dB ↓	1.6dB
Spurious Level	60dBc ↓	
Phase Noise	-65dBc @ 100Hz -75dBc @ 1kHz -85dBc @ 10kHz -95dBc @ 100kHz -95dBc @ 1MHz	

2.2 모뎀부 설계

모뎀은 이더넷 포트를 통해 패킷데이터를 받아 채널상황에 맞게 변복조하여 전송하는 장비로서, 크게 순방향 오류정정 (FEC) 부호, 변/복조 모듈, Root-Raised-Cosine (RRC) Waveform/Matched filter, Cascaded Integrator-Comb (CIC) Interpolator/Decimator, Numerically Controlled Oscillator (NCO), Frequency Mixer, DAC/ADC로 구성되어있고, 그 구성도는 그림 3과 같다. 운반용 위성단말에 사용된 순방향 오류정정 (FEC) 부호는 터보곱셈부호 (Turbo Product Code, TPC)로 DVB-S2 표준[6]에 사용된 LDPC 코드[7]와 비교하여 성능은 비슷하지만, code rate를 유연하게 변경 가능한 구조를 갖고 있다. 대신 LDPC에 비하여 복잡도가 높은데, FEC를 TPC[8,11,12]로 교체함으로써 발생하는 복잡도 문제는 Comtech AHA사의 TPC IC를 이용하여 FPGA 로직 사용량을 절감하였다. 내부 부호화/복호화 과정은 다음 그림 4와 같다. 변조방식은 QPSK, 8PSK, 16APSK까지 지원 가능하고, Matched filter는 기본 8배 oversampling에 128 tap RRC filter를 사용하였다. Interpolation filter는 CIC필터를 이용하였고 interpolation rate는 512 까지 설정이 가능하여, 대역폭 가변이 수월하도록 설계, 구현하였다. ADC/DAC는 해상도 14-bit, Spurious-free Dynamic Range (SFDR) 80dBc를 만족하는 부품을 사용하였고 250MHz 클럭으로 샘플링 하였다.[9]

다양한 부호화율 중 Fly-away 단말 설계에 사용된 0.324, 0.444, 0.611, 0.75, 0.876 5개의 부호화율에서의 BER 성능을 TPC IC 제작사에서 제공하는 성능분석 툴을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 그 결과는 변조

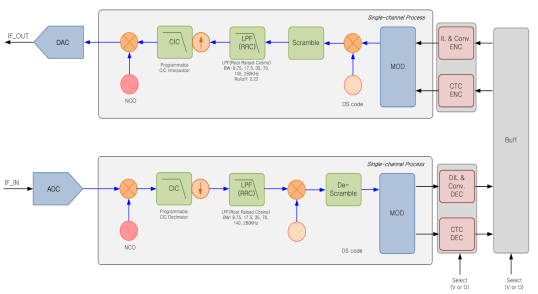


Fig. 3. The architecture of modem function block diagram

www.dbpia.co.kr

방식에 따라 각각 그림 5와 같다.[10]

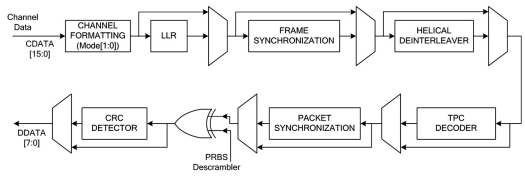
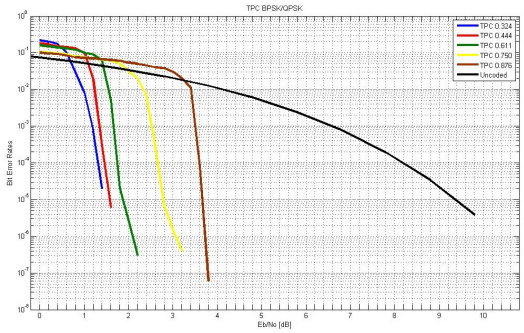
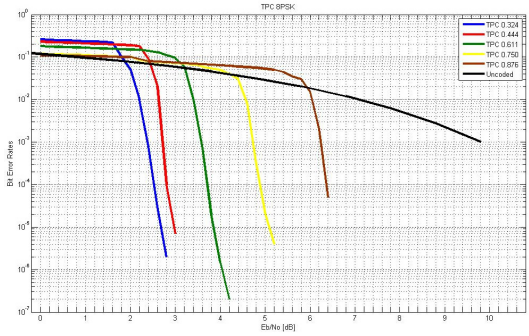


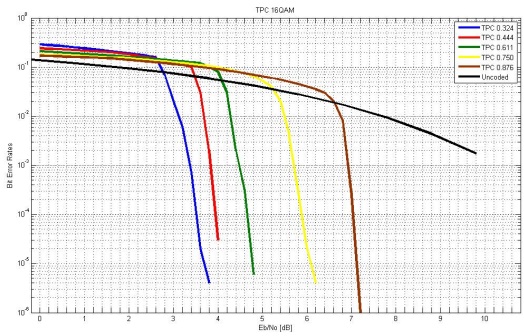
Fig. 4. The architecture of FEC block diagram



(a)



(b)



(c)

Fig. 5. BER Perfomance of TPC (a) BPSK/QPSK, (b) 8PSK, (c) 16QAM

Ⅲ. 측정결과

본 논문에서 제작된 TPC 방식의 위성 데이터 통신용 fly-away terminal의 송수신부는 모뎀부 신호와 spectrum Analyzer, Network Analyzer 및 Noise Figure Meter를 이용하여 측정하며 모뎀부를 포함한 fly-away terminal의 전체 통신 성능을 측정하기 위한 시험구성도는 그림 6과 같다. Fly-away Terminal I에서 송신된 신호를 Fly-away Terminal II에서 수신하여 BER meter를 이용하여 성능을 측정하며 Fly-away Terminal II에서 송신된 신호를 Fly-away Terminal I에서 수신하여 BER meter를 이용하여 성능을 측정하도록 구성된다.

송수신부의 안테나 측정 결과는 그림 7과 같다. 송신 안테나 이득의 경우 45.7dBi이며 수신 안테나 이득은 42.0dBi의 측정 결과를 확인할 수 있다. 그림 8은 송신 출력 측정 결과이며 4W(36dBm) 이상의 규격을 만족하는 것을 확인할 수 있다. 그림 9는 수신 이득과 잡음지수 측정 결과이다. 수신 이득은 운용 주파수 대역에서 규격 60dB 이상 만족하는 결과를 확인할 수 있다. 운용 주파수 대역에서 잡음지수 규격 1.6dB 이하를 만족하는 것을 확인할 수 있다. 그림 10는 송/수신 불요파 측정 결과이며 규격 60dBc 이하를 만족하는 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 11은 위상잡음 측정 결과이며 규격 충족을 확인할 수 있다.

모뎀부의 성능은 PTP BER 테스트로 측정하였으며, 채널환경 및 신호대잡음비(SNR) 조정, 측정의 어려움으로 1dB 단위로 가변해 가며 에러프리(BER 10-7 이하) SNR을 측정하였다. 그 결과를 그림 5, 6,

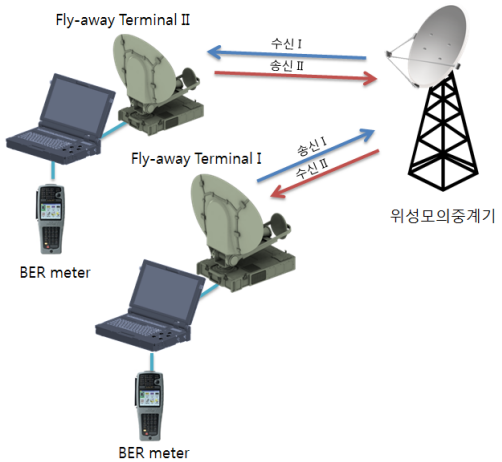
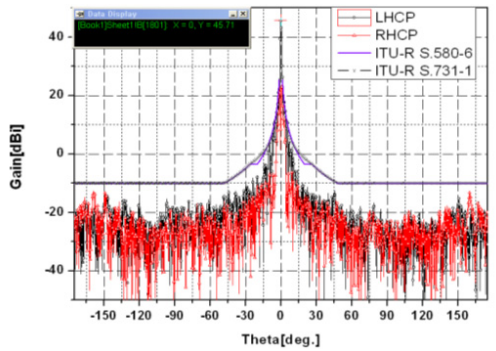


Fig. 6. Test bench

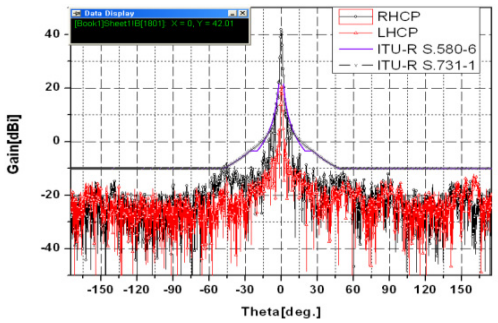
www.dbpia.co.kr

7의 시뮬레이션 결과에 표시하면 다음 그림 12와 같다.

TPC 시뮬레이션에서 16QAM 외에 16APSK는 지



(a)



(b)

Fig. 7. (a) Antenna Tx gain, (b) Antenna Rx gain

Fig. 8. Tx output power

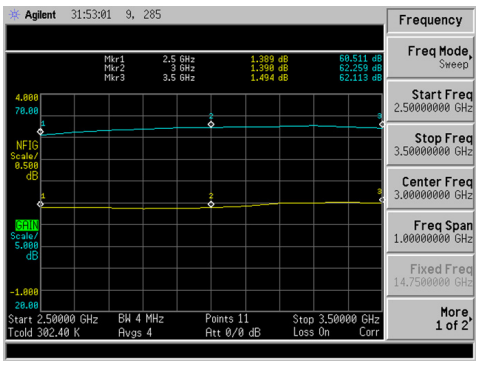
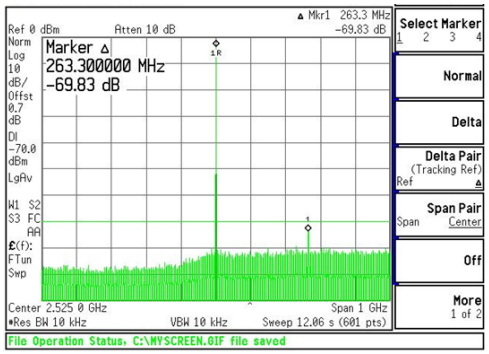
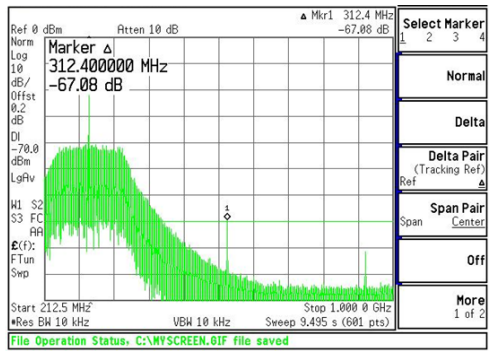


Fig. 9. Rx gain & NF



(a)



(b)

Fig. 10. Spurious of (a) Tx, (b) Rx

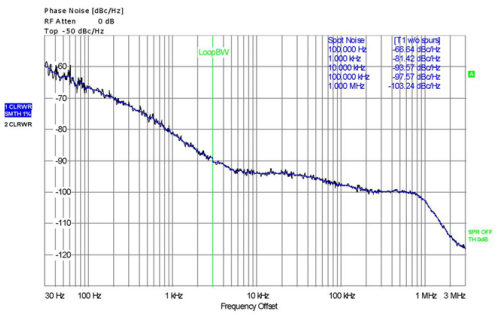
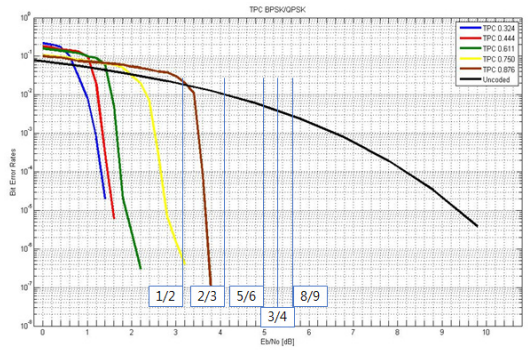


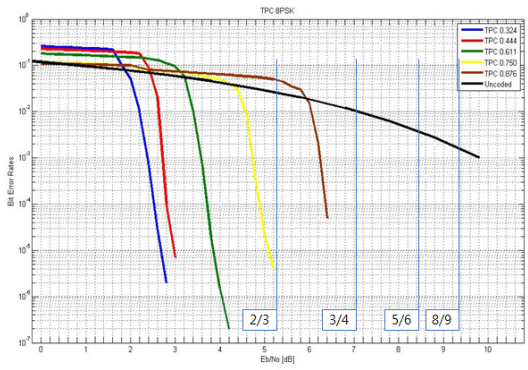
Fig. 11. Phase Noise

원하지 않아서 비교 그래프에서는 제외하였다. 위의 그래프에 실제 구현한 단말에서 BER 10-7을 만족하는 Eb/No를 각 부호율에 따라 표시하였고, 실제 구현한 부호율 3/4와 같은 TPC 0.750에서 약 2dB, 8/9(약 0.888)와 근사한 TPC 0.876에서 약 2.5dB 가량 성능이 낮은 것으로 측정되었다. 모뎀부와 RF부, 안테나부 등과 통합하는 과정에서의 구현손실과 세밀한 신호대 잡음비 조정이 불가한 시험환경에서의 측정오차 등으로 인해 실제 시뮬레이션과 다른 결과를 확인하였다.

www.dbpia.co.kr



(a)



(b)

Fig. 12. BER performance of (a)QPSK, (b)8PSK

Ⅳ. 결 론

본 논문에서 제작된 TPC 방식의 위성 데이터 통신용 fly-away terminal은 소형 경량화를 위해 마그네슘 재질을 이용하여 주/부 반사판의 무게를 최소화 하였다. 표 3과 같은 시험 결과를 통해 목표사양을 초과 충족하는 것을 확인할 수 있다. 모뎀부는 DVB-S2 기반의 설계에 트래픽 구간의 가변성을 높이기 위해 LDPC 코드 대신 TPC를 적용하여 설계하였으며, 복잡도 문제를 해결하기 위해 AHA사의 IC를 사용하여 실제 구현 로직양을 절약하였다. 다양한 대역폭을 선택 가능하도록 interpolation rate 512까지 지원 가능한 CIC filter를 적용하였다. 전체적으로 대역폭과 전송률의 가변성을 우선으로 하는 설계를 진행하였고 시험 결과, 시뮬레이션한 TPC 코덱 성능보다 Eb/No 기준 약 2 ~ 3dB 낮은 성능을 확인할 수 있었다. 이상으로 TPC 방식의 위성 데이터 통신용 fly-away terminal 송수신기에 대하여 기술하였다. 본 논문에서 설계 및 제작된 fly-away terminal은 2명의 운반자에 의해 이동 및 설치하는 전술 기동성이 중요시되는 위성통신용 지상단말로 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

Table 3. Comparison of Target Performance & Measured Result

Parameter		Target	Designed
Frequency		Ka-band	
Antenna Gain	Tx	44.0 dBi	45.7 dBi
	Rx	41.5 dBi	42.0 dBi
Tx Power		4 W ↑	5 W
Rx Gain		60 dB ↑	60.5 dB
Rx Noise Figure		1.9 dB ↓	1.49 dB
Spurious Level		60 dBc ↓	67.05 dBc
Phase noise		-65 dBc @ 100Hz -75 dBc @ 1kHz -85 dBc @ 10kHz -95 dBc @ 100kHz -95 dBc @ 1MHz	-66.64 dBc @ 100Hz -81.42dBc @ 1kHz -93.57dBc @ 10kHz -97.57dBc @ 100kHz -103.24dBc @ 1MHz
Modulation		QPSK, 8PSK, 16QPSK	
FEC		Turbo Product Code (TPC)	
Data rate		2Mbps	
Multiple access		DAMA MF-TDMA	

References

[1] H. Chan, "Advanced microwave technologies for smart flexible satellite," *IEEE MTTS*, 2011.

[2] Y.-S. Yoo and D.-K. Ko, "Development direction of vehicular terminal for military satellite communication," in *Proc. Korean Inst. Electromagnetic Eng. and Sci.*, vol. 19, no. 4, pp. 52-60, 2008.

[3] I-S. Han, C.-M. Lim, S.-W. Han, and O.-J. Kwon, "Military application of portable mobile satellite communication system," *J. KICS*, vol. 33, no. 11, pp. 30-38, 2016.

[4] G. Maral and M. Bousquet, *Satellite Communication Systems*, Fifth Edition, John Wiley & Sons, 2002.

[5] K. Kwon, H.-G. Ryu, J.-W. Heo, K.-M. Hwang, and M.-J. Jang, "Double-input singe-output architecture of LNA and correction method of phase variation for OTM satellite communication system," *J. KICS*, vol. 40, no. 1, pp. 1-8, 2015.

www.dbpia.co.kr

[6] ETSI EN 302307 (V1.2.1) : *Digital Video Broadcasting (DVB) ; Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications* (DVB-S2), from http://www.etsi.org.

[7] S. K. Hwang, "Performance analysis of LDPC Coded-QPSK under jamming," in *Proc. KICS Int. Conf. Commun.*, vol. 45, no. 8A-34, p. 226, 2011.

[8] Comtech AHA Corporation, *Product Specification AHA4540B 155Mbits/sec Turbo Product Code Encoder/Decoder*, from http://www.aha.com.

[9] Bandwidth-Efficient Modulations, *Summary of Definition, Implementation, and Performance*, CCSDS 413.0-G-1 Green Book, Apr. 2003.

[10] Comtech AHA Corporation, *Turbo Product Code Products Overview*, from http://www.aha.com.

[11] B. Vucetic and J. Yuan, *Turbo Codes : Principles and Applications*, 1st Ed., Springer, 2000.

[12] S. Ha, B. Ahn, J. Oh, D. Kim, and J. Heo, "Effective decoding algorithm of three dimensional product code decoding scheme with single parity check code," *J. KICS*, vol. 41, no. 9, pp. 1095-1102, 2016.

심 은 석 (Eunseok Shim)

2009년 8월 : 연세대학교 공과대학 전기전자공학 전공 (공학사)
2010년 1월~현재 : 한화시스템 위성데이터링크팀 선임연구원
<관심분야> 위성통신분야, 모뎀신호처리

박 병 준 (Byoungjun Parl)

2009년 2월 : 광운대학교 전자공학과 (공학사)
2011년 2월 : 광운대학교 전자공학과 (공학석사)
2011년 1월~현재 : 한화시스템 AESA 레이다 개발센터 전문연구원
<관심분야> 위성통신분야, RF 시스템, 능/수동 소자 회로 설계 등

이 덕 우 (Deokwoo Lee)

2000년 2월 : 수원대학교 정보통신공학과 (공학사)
2000년 8월~2003년 1월 : (주) 머큐리
2003년 2월~현재 : 한화시스템 위성데이터링크팀 전문연구원
<관심분야> 위성통신 시스템 설계, 기저대역 설계, 신호처리 하드웨어 설계

이 성 재 (Seongjae Lee)

1994년 2월 : 충남대학교 전자공학과 (공학사)
1996년 2월 : 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
1996년 1월~현재 : 국방과학연구소 책임연구원
<관심분야> 위성통신 시스템 설계, RF시스템 설계, 위성시험장 시스템 설계

www.dbpia.co.kr